

Study on Attitude and Orbit Control Characterization for a CubeSat Equipped with Pulsed Plasma Thrusters

著者	Rodrigo Cordova-Alarcon Jose
その他のタイトル	パルスプラズマスラスタを搭載したキューブサット のための軌道・姿勢制御特性の評価に関する研究
学位授与番号	17104甲工第476号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00007325

氏 名	Jose Rodrigo Cordova-Alarcon(メキシコ)
学 位 の 種 類	博 士(工学)
学 位 記 番 号	工博甲第476号
学位授与の日付	令和元年6月28日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目	Study on Attitude and Orbit Control Characterization for a CubeSat Equipped with Pulsed Plasma Thrusters (パルスプラズマスラスタを搭載したキューブサットのための軌道・姿勢制御特性の評価に関する研究)
論文審査委員	主 査 教 授 趙孟佑 " 奥山圭一 " 平木講儒 准教授 豊田和弘

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文の第1章では、パルスプラズマスラスタ(PPT)によるリアクションホイールの角運動量削減の可能性について、2019年1月に打ち上げられた2U(10cmx10cmx20cm)のキューブサットであるAoba VELOX-IV(AV4)を例にとって検討することを目的の一つとしている。そのため、AV4の姿勢制御系開発の一環としてProcessor-in-the-loop並びにHardware-in-the-loopの試験装置が開発された。これらの試験装置は、将来のキューブサットミッションの姿勢制御系の検証ツールとしても使用可能なものである。さらに、AV4は将来の月ミッションのための技術実証であるため、将来の月ミッションを見越して、PPTを使用した月周回軌道の軌道維持についても検討することを、本論文のもう一つの目的としている。AV4のために開発された衛星シミュレータが周回天体を月に変更して使用されている。

本論文の第2章では電気推進系を搭載したキューブサットミッションの現状について述べている。今までに電気推進機搭載のキューブサットは数機は打ち上げられているものの、電気推進機の動作を報告したキューブサットはない。また、この章では、姿勢制御系の実験的検証の技術動向についてもレビューを行っており、エアベアリングテーブルが主流であることを明らかにしている。しかしながら、真空環境内でのそれらの機器の動作は難しいことを述べている。磁気浮上を用いた試験システムがあるのみである。

本論文の第3章はAV4プロジェクトの概要並びにその姿勢制御系への要求を述べている。AV4のミッションは将来の月周回軌道におけるルーナーホライズングローの撮影であるが、そのためにAV4のカメラのある機体軸を撮影ターゲットに指向させる必要がある。姿勢制御系のソフトと動作モード並びに主要なコンポーネントについても記述されている。

本論文の第4章は、軌道力学や剛体の力学など、軌道上における宇宙機のダイナミクスの数学モデルを紹介している。数学モデルに基づいて、基礎的な衛星シミュレータが開発され、軌道や姿勢の変動、姿勢安定、センサーやアクチュエータのサイジング等々に関する数値解析に用いられた。

本論文の第5章は、AV4の姿勢制御系に実装されたアルゴリズムを述べている。この中には、入力、出力、故障検知、誘導、姿勢決定、姿勢制御、アクチュエータコマンドなどについての情報が含まれている。

本論文の第6章では、PPTを搭載したキューブサットによる、月周回軌道でのミッション寿命延長に関する解析の結果を述べている。月は重力場が不規則であり、宇宙機の軌道上寿命を短くする不安定な軌道の範囲がある。推進系なしで不安定な軌道に投入されると、数週間で月面と衝突してしまう可能性がある。この解析は、将来の月ミッションにおける軌道選定や、ミッション寿命を伸ばすための推進機作動モードのガイドラインとなったりする。

本論文の第7章では、AV4姿勢制御系のソフトウェア検証のために開発された試験装置について述べている。AV4の搭載コンピュータのファームウェアに組み込まれた姿勢制御系ソフトの安定性や性能を確かめるために行われた各種試験の結果についても述べられている。

本論文の第8章では、AV4用に開発されたPPTを用いて地球周回軌道でのリアクションホイール角運動量削減という姿勢制御が可能であるとともに、同様のPPTを用いた月周回軌道での軌道維持が可能であることを結論として述べている。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文はキューブサットの利用拡大、とりわけ月や火星といった地球周回軌道以外でのミッション実施の可能性を広げる上で極めて重要な研究である。近年、低価格な軌道上技術実証ミッションのためにキューブサットが用いられることが多くなっている。キューブサットに電気推進系を搭載することにより、軌道維持や姿勢制御を実施する能力を得ることができる。しかしながら、これまでにキューブサットに電気推進系を搭載することにより姿勢制御を行った事例は報告されていない。さらにキューブサットによる月ミッションを考えた際に、ピギーバックにより打ち上げられるキューブサットは投入される月周回軌道を選べないので、月周回軌道において長期間のミッションを行うためには、軌道維持のための推進系が必要となり、比推力の観点から電気推進系が必要となる。さらには、磁場が極めて弱い月周回軌道においては、磁気を使った姿勢制御アクチュエータは使用できず、リアクションホイールの飽和対策のためになんらかの推進系を搭載することが望まれ、比推力が高く、搭載推進剤重量を節約できる電気推進系が有望である。電気推進を用いた衛星姿勢制御については、推進機の動作に真空環境が必要となるため、地上実験が行われた実績が乏しい。

上記の論文に対して審査を行い、本研究が超小型衛星の用途拡大に向けて大きく貢献したことが認められた。審査会・公聴会にてなされた、数ある電気推進の中からPPTを選んだ理由、月周回軌道維持での軌道要素の変化、ルーナーホライズングローの月緯度依存性、PPTが必要とする電力をキューブサットが賄えるのか、といった様々な質問にも適切に対処した。本論文作成の過程で証明した研究能力と論文の記述から、本人が博士号を授与されるのに相応しい素養を身に付

けていると判断した。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。